

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Masaaki ONOMURA, et al.

GAU:

SERIAL NO: NEW APPLICATION

EXAMINER:

FILED: HEREWITH

FOR: SEMICONDUCTOR LASER DIODE

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS  
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2000-301435	September 29, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .  
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and  
(B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,  
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Norman F. Oblon

Registration No. 24,618

C. Irvin McClelland  
Registration Number 21,124



22850

Tel. (703) 413-3000  
Fax. (703) 413-2220  
(OSMMN 10/98)



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2000年 9月29日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2000-301435

出 願 人  
Applicant(s):

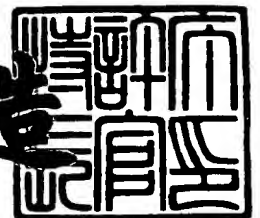
株式会社東芝



2001年 5月31日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3050979

【書類名】 特許願

【整理番号】 13B0050591

【提出日】 平成12年 9月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 21/00

【発明の名称】 半導体レーザ装置

【請求項の数】 6

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

    【氏名】 小野村 正明

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

    【氏名】 名取 真理子

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 番地 株式会社東芝  
研究開発センター内

    【氏名】 石川 正行

【特許出願人】

    【識別番号】 000003078

    【氏名又は名称】 株式会社 東芝

【代理人】

    【識別番号】 100081732

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 大胡 典夫

【選任した代理人】

    【識別番号】 100075683

    【弁理士】

【氏名又は名称】 竹花 喜久男

【選任した代理人】

【識別番号】 100084515

【弁理士】

【氏名又は名称】 宇治 弘

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009427

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001435

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

G a N 層と、

前記 G a N 層上に形成され、前記 G a N 層と格子不整合する第 1 導電型格子不整合層と、

前記第 1 導電型格子不整合層上に形成された第 1 導電型クラッド層と

前記第 1 導電型クラッド層上に形成された少なくとも活性層を含むコア領域と

前記コア領域上に形成された第 2 導電型クラッド層とを具備し、

前記第 1 導電型格子不整合層、前記第 1 導電型クラッド層、前記コア領域及び前記第 2 導電型クラッド層は、窒素を含む六方晶 III-V 族化合物半導体からなり、

前記第 1 導電型格子不整合層は  $G a_{1-x} A l_x N$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) であることを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 2】

前記第 1 導電型格子不整合層の組成比  $x$  が  $0.04 \leq x \leq 0.07$  であることを特徴とする請求項 1 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 3】

前記第 1 導電型クラッド層は、 $G a_{1-z} A l_z N$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) 層を含むことを特徴とする請求項 1 或いは請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】

前記第 1 導電型クラッド層が  $G a A l N / G a N$  超格子構造であることを特徴とする請求項 1 或いは請求項 2 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 5】

前記超格子構造中の  $G a A l N$  が  $G a_{1-z} A l_z N$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) であることを特徴とする請求項 4 記載の半導体レーザ装置。

【請求項 6】

G a N 層と、

前記 G a N 層上に直接形成された第 1 導電型  $G a_{1-x} A l_x N$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) 層と、

前記第 1 導電型  $G a_{1-x} A l_x N$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) 層上に直接形成された第 1 導電型  $G a_{1-z} A l_z N$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) クラッド層と

前記第 1 導電型  $G a_{1-z} A l_z N$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) クラッド層上に形成された窒素を含む六方晶 III-V 族化合物からなる活性層を含むコア領域と

前記コア領域上に形成され、窒素を含む六方晶 III-V 族化合物からなる第 2 導電型クラッド層とを具備することを特徴とする半導体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒素を含む III-V 族化合物半導体からなる半導体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、高密度光ディスクシステムにおける光ディスクの読み出し書き込み手段として半導体レーザ装置が用いられており、記録密度を高めるために半導体レーザ装置の短波長化、高出力化の開発が進められている。現在 I n G a A l P 系化合物半導体を用いた波長 600 nm 帯光源の半導体レーザ装置が開発され、D V D 等の光ディスクシステムが実現されている。

【0003】

そして更に記録密度を高めるために、I n G a A l B N 系化合物半導体を用いた G a N 系半導体レーザ装置の開発が盛んに行われている。G a N 系半導体レーザは、波長を 350 nm 以下まですることが可能で、信頼性に関しても数千時間以上の室温連続発振、L E D においては 1 万時間以上の信頼性が確認されるなど有望である。すなわち G a N 系は材料的に次世代の光ディスクシステム光源に必要な条件を満たすことのできる優れた材料である。

## 【 0 0 0 4 】

小型高性能化が望まれる光ディスクシステムに用いられる半導体レーザ装置の要求される特性として、基本モードで高光出力まで連続発振し、且つ小型化、集積化のために低消費電力で発熱を抑制することが重要となる。

## 【 0 0 0 5 】

図 5 に、従来の InGaAlBN 系化合物半導体を用いた半導体レーザ装置の断面図を示す。

## 【 0 0 0 6 】

サファイア基板 8 0 上に n 型 GaN コンタクト層 8 1 が形成され、この n 型 GaN コンタクト層 8 1 上に n 型 GaAlN/GaN からなる超格子構造クラッド層 8 3 が形成されている。この n 型 GaAlN/GaN 超格子構造クラッド層 8 3 上には、下から n 型 GaN 導波層 8 4、InGaN 多重量子井戸 (MQW) 活性層 8 6、p 型 GaAlN キャップ層 8 7、p 型 GaN 導波層 8 8 からなるコア領域 9 4 が形成されている。符号 8 5 は n 型 GaAlN オーバーフロー防止層で、符号 8 7 は p 型 GaAlN オーバーフロー防止層であり、それぞれ電荷閉じ込めを行うために用いる。

## 【 0 0 0 7 】

このコア領域 9 4 上には p 型 GaAlN/GaN からなる超格子構造クラッド層 8 9 が形成され、この p 型 GaAlN/GaN からなる超格子構造クラッド層 8 9 上に p 型 GaN コンタクト層 9 0 が形成され凸形状のストライプ状にエッチバックされている。

## 【 0 0 0 8 】

p 型 GaN コンタクト層 9 0 上には p 側電極 9 1、n 型 GaN コンタクト層 8 1 上には n 側電極 8 2 が形成され、全体が絶縁膜 9 3 で覆われている。符号 9 5 は p 側電極 9 1 上に形成された電極パッドである。

## 【 0 0 0 9 】

図 6 は、このように形成された InGaAlBN 系化合物半導体レーザ装置の各層の屈折率を示したものである。

## 【 0 0 1 0 】

このように構成された半導体レーザ装置は、InGa<sub>N</sub>多重量子井戸活性層 86 において電子と正孔が再結合し、レーザ発振する。このn型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層 83 及びp型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層 89 の屈折率はコア領域の屈折率よりも低くなっているので光を閉じ込めることができる。

#### 【0011】

しかしながらInGaAlBN系化合物半導体を用いた半導体レーザ装置では各層の格子不整合と熱膨張係数の違いによるクラック発生を抑制するためにn型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層 83 を厚くできないので、コア領域 94 で発生した光が、n型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層 83 から抜けて下層のn型GaNコンタクト層 81 に漏れてしまうという現象がある。一方、n型GaNコンタクト層 81 の屈折率は発振レーザ光の実効屈折率よりも大きいので反導波構造になる。従って、高次の垂直横モードによるレーザ発振が起こりやすくなるために、基本モードを達成することが困難であるという問題がある。

#### 【0012】

また、基本モードを達成しようとしてn型InGaAlN/GaN超格子構造クラッド層 83 を厚く形成しようとする、クラックが生じない場合でさえ、転位などの結晶欠陥が多く生じ動作電流や光出力の経時変化の問題、漏洩電流増大による消費電力の増大と発熱の問題が顕在化してくるという問題がある。

#### 【0013】

##### 【発明が解決しようとする課題】

このように従来のInGaAlBN系半導体レーザ装置では、基本モードを達成するためには活性層で発生した光の漏れを防ぐためにn型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層を厚く形成しなければならないが、n型GaAlN/GaN超格子構造クラッド層を厚く形成すると、転位などの結晶欠陥が多く生じ、動作電流や光出力の経時変化の問題、漏洩電流増大による消費電力の増大と発熱の問題が顕在化するという問題がある。

#### 【0014】

本発明は、上記問題を解決するためになされたもので、基本モードを達成し、



且つ結晶欠陥の発生を抑制して高光出力の連続発振を達成する窒化物系半導体レーザー装置を提供することを目的とする。

#### 【0015】

##### 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、GaN層と、

前記GaN層上に形成され、前記GaN層と格子不整合する第1導電型格子不整合層と、

前記第1導電型格子不整合層上に形成された第1導電型クラッド層と

前記第1導電型クラッド層上に形成された少なくとも活性層を含むコア領域と

前記コア領域上に形成された第2導電型クラッド層とを具備し、

前記第1導電型格子不整合層、前記第1導電型クラッド層、前記コア領域及び前記第2導電型クラッド層は、窒素を含む六方晶III-V族化合物半導体からなり、

前記第1導電型格子不整合層は $Ga_{1-x}Al_xN$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) であることを特徴とする半導体レーザー装置を提供する。

#### 【0016】

このとき、前記第1導電型格子不整合層の組成比 $x$ が $0.04 \leq x \leq 0.07$ であることが好ましい。

#### 【0017】

また、前記第1導電型クラッド層は、 $Ga_{1-z}Al_zN$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) 層を含むことが好ましい。Al組成比が0.05を下回ると、クラッド層として十分な屈折率を得られない可能性があり、0.2を越えるとクラックが発生する可能性がある。クラッド層は全体としての屈折率と、結晶性とのバランスを考慮して設計すればよい。

#### 【0018】

また、前記第1導電型クラッド層がGaAlN/GaN超格子構造であることが好ましい。

#### 【0019】

この場合、前記超格子構造中の  $\text{GaAlN}$  が  $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{N}$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) であることが好ましい。

#### 【0020】

また、本発明は、 $\text{GaN}$  層と、

前記  $\text{GaN}$  層上に直接形成された第1導電型  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) 層と、

前記第1導電型  $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) 層上に直接形成された第1導電型  $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{N}$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) クラッド層と

前記第1導電型  $\text{Ga}_{1-z}\text{Al}_z\text{N}$  ( $0.05 \leq z \leq 0.2$ ) クラッド層上に形成された窒素を含む六方晶III-V族化合物からなる活性層を含むコア領域と

前記コア領域上に形成され、窒素を含む六方晶III-V族化合物からなる第2導電型クラッド層とを具備することを特徴とする半導体レーザ装置を提供する。

#### 【0021】

本発明の好ましい態様では、 $\text{GaN}$  層と  $\text{GaAlN}/\text{GaN}$  超格子構造クラッド層との間に、発振レーザ光の実効屈折率よりも低い屈折率を有する  $\text{GaAlN}$  格子不整合層を設ける構造となっている。

#### 【0022】

この  $\text{GaAlN}$  格子不整合層は、発振レーザ光の実効屈折率よりも低い屈折率を有しているので、クラッド層と合わせて光を閉じ込めるための膜厚を厚くでき、下層の  $\text{GaN}$  層への光の染み出しを防ぐことができるので高光出力にいたるまで基本モードでの連続発振を実現できる。さらにこの  $\text{GaAlN}$  格子不整合層は、下層の  $\text{GaN}$  層からの転位や熱、歪による応力をこの半導体単結晶層の面方向に吸収することができ、上層のクラッド層への増長を抑制できる。

#### 【0023】

#### 【発明の実施の形態】

以下、図面を用いて本発明の好ましい実施形態について詳細に説明する。

#### 【0024】

#### (実施形態1)

図 1 は、本発明の実施形態 1 に係る化合物半導体レーザ装置の断面図である。

【0025】

サファイア基板 10 上に n 型 GaN コンタクト層 11 が形成され、この n 型 GaN コンタクト層 11 上に、n 型  $\text{Ga}_{0.95}\text{Al}_{0.05}\text{N}$  格子不整合層 12 が形成されている。この n 型  $\text{Ga}_{0.95}\text{Al}_{0.05}\text{N}$  格子不整合層 12 上には  $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{GaN}$  からなる超格子構造クラッド層 13 が形成されている。この n 型  $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{GaN}$  超格子構造クラッド層 13 上には、下から n 型 GaN 導波層 14、n 型  $\text{Ga}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{N}$  オーバーフロー防止層 15、InGa<sub>N</sub> 多重量子井戸 (MQW) 活性層 16、p 型  $\text{Ga}_{0.75}\text{Al}_{0.25}\text{N}$  オーバーフロー防止層 17、p 型 GaN 導波層 18 からなるコア領域 24 が形成されている。

【0026】

このコア領域 24 上には p 型  $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{GaN}$  からなる超格子構造クラッド層 19 が形成され、この超格子構造クラッド層 19 上に p 型 GaN コンタクト層 20 が形成され凸形状のストライプ状にエッチバックされている。

【0027】

p 型 GaN コンタクト層 20 上には p 側電極 21、n 型 GaN コンタクト層 11 上には n 側電極 22 が形成され、全体が絶縁膜 23 で覆われている。符号 25 は p 側電極 21 上に形成された電極パッドである。

【0028】

図 2 は、このように構成された化合物半導体レーザ装置の各層の屈折率を示したものである。

【0029】

本実施形態では、発振レーザ光の実効屈折率よりも屈折率が高い n 型 GaN コンタクト層 11 と発振レーザ光の実効屈折率よりも屈折率が低い n 型  $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{GaN}$  超格子構造クラッド層 13 との間に、発振レーザ光の実効屈折率よりも屈折率が小さい n 型  $\text{Ga}_{0.95}\text{Al}_{0.05}\text{N}$  格子不整合層 12 が挿入されている。

## 【0030】

このときn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13の膜厚は1.2 μm、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12の膜厚は0.6 μmであり、合わせて膜厚が1.8 μmとなっている。この構造の場合、n型GaNコンタクト層11とn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12との格子不整に起因する残留歪は0.1%の引っ張り歪であるため10 μm以上の成長が可能であるばかりかn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12の上部は歪量が緩和されてしまう。さらに、その上部のn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13とn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12との格子不整に起因する残留歪は超格子構造であるが故に0.02%程度とほぼ無視できる程度の引っ張り歪量になるためにクラックが生じない。

## 【0031】

本実施形態の化合物半導体レーザ装置では、コア領域24とn型GaNコンタクト層11の間に発振レーザ光の実効屈折率よりも屈折率の小さい層が膜厚1.8 μm形成されることによって、コア領域24で発振したレーザ光がn型GaNコンタクト層11に漏れないようにできる。このようにn型GaNコンタクト層11に光が染み出さないことで半導体レーザ装置の基本モードを達成することが可能となる。

## 【0032】

一方で、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12の膜厚分(0.6 μm)を挿入せずに、コア領域24とn型GaNコンタクト層11の間を厚さ1.2 μmのn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13のみにした場合は、コア領域24での光がn型GaNコンタクト層11に漏れてしまうために、高次モードでの発振となる。

## 【0033】

これを防ぐためには、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13を膜厚1.8 μmまで成長可能であればよいが、n型GaNコンタクト層11の直上に成長可能なn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子

構造クラッド層13は1.2  $\mu\text{m}$ が限界であり、これ以上の厚さの場合にはクラックが発生する。これは下地のn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13の残留歪が0.16%の引っ張り歪として存在するためである。即ち、下地層に対して残留歪が0.14%以上の引っ張り歪として存在する場合には1.8  $\mu\text{m}$ 以上のn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13を形成することは不可能であることがわかった。

## 【0034】

また、本実施形態において、発振波長400nm前後を得るためにはInGa<sub>N</sub>量子井戸構造活性層における井戸層のIn組成が0.1程度であることが好ましい。量子井戸構造レーザの場合、多重井戸構造であるほど実効屈折率が高くなる。実効屈折率が最も低い単一量子井戸構造の場合でさえ、発振光の実効屈折率よりも屈折率が下回るためのn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N格子不整合層12のAl組成は0.04以上とすればよい。さらに、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13とn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N格子不整合層12の厚さは合わせて1.8  $\mu\text{m}$ 以上とすればよい。

## 【0035】

次に、図3は、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>Nコンタクト層11（厚さ3  $\mu\text{m}$ ）上にn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N格子不整合層12（厚さ0.6  $\mu\text{m}$ ）を形成し、このn型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N格子不整合層12上にn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13を形成した場合に、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13にクラックが発生しないクラッド層13の臨界膜厚と、n型Ga<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N格子不整合層12のAl組成xの関係を実験的に求めた図である。

## 【0036】

図3中、□印はGa<sub>1-x</sub>Al<sub>x</sub>N格子不整合層12のAl組成xがx=0、即ち、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13を形成した場合を示した。

## 【0037】

また、図3中矢印Aに示す点線は、本実施形態における半導体レーザ装置の基本モードを得るために必要なn型 $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{Ga}\text{N}$ 超格子構造クラッド層13の最低限必要な膜厚を示している。ここで、図3中矢印Aで示す点線がAl組成5%付近で折れ曲がるのはそれより高いAl組成領域では $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 格子不整合層12の屈折率が半導体レーザの発振における実効屈折率より低くなるために光閉じ込め効果が急激に増大するためである。

## 【0038】

図3に示すように、n型 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 格子不整合層12のAl組成xが0.04以上0.08以下となる範囲において、n型 $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{Ga}\text{N}$ 超格子構造クラッド層13の臨界膜厚は、基本モードを得るために必要な厚さを超えている。したがってこのAlの組成( $0.04 \leq x \leq 0.08$ )の範囲においてクラックが発生せず基本モードを達成できる化合物半導体レーザ装置を形成することができる。

## 【0039】

一方で、n型 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 格子不整合層12のAl組成xが $0.07 < x \leq 0.08$ においては、n型 $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{Ga}\text{N}$ 超格子構造クラッド層13へのSiドーパ量を $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上に増やした積層の場合クラックが生じ易くなるばかりか、さらにその上部に積層されるコア領域24及びp型 $\text{Ga}_{0.85}\text{Al}_{0.15}\text{N}/\text{Ga}\text{N}$ 超格子構造クラッド層19には限界膜厚とのマージンが狭くクラックが発生してしまうことがある。したがってn型 $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 格子不整合層12のAl組成xは、限界膜厚のマージンを考慮すると $0.04 \leq x \leq 0.07$ であることが望ましい。この組成範囲であれば、超格子構造クラッド層13のAl平均組成を高くしても容易に形成できる。

## 【0040】

以上の知見に鑑みて、化合物半導体からなる各層は、窒素を含む六方晶III-V族化合物半導体であり、特に $\text{Ga}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ 格子不整合層13は、屈折率が発振レーザの実効屈折率よりも低く設定され、且つAlの組成xが $0.04 \leq x \leq 0.08$ を満たし格子定数をこの組成に対して実質的に変化させない程度の

InやBを含んでも問題ない。

【0041】

次に、この半導体レーザ装置に形成方法について説明する。

【0042】

ここでは窒素を含む六方晶III-V族化合物半導体層各層をMOCVD法によって成長した例を示すが、分子線エピタキシャル(MBE)法を用いて成長しても良い。

【0043】

まず、(0001)面を主面とするサファイア基板10に単結晶GaN層が形成できるための洗浄処理等の前処理工程を行い、水素と窒素を含むキャリアガスの雰囲気中で1080℃の温度環境に設定し、n型GaNコンタクト層11(厚さ3μm)、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12(厚さ0.6μm)、n型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13(厚さ1.2μm)、n型GaN導波層14(厚さ0.1μm)、n型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層15(20nm)のn型層を有機金属化学的気相成長(MOCVD)法により連続して成長する。

【0044】

これらのMOCVD法による結晶成長にはGaを含む有機金属化合物として例えばトリメチルガリウム(第1原料ガス)、Alを含む有機金属化合物として例えばトリメチルアルミニウム(第2原料ガス)及びNを含む原料ガスとして例えばアンモニア(第3原料ガス)を用いた。またこのときAlとGaとの組成比の調整は第1原料ガス及び第2原料ガスの流量を増減することで行うことができる。以後窒化ガリウム系化合物半導体からなる各層は、これら第1原料ガス、第2原料ガス及び第3原料ガスを用いてMOCVD法で成長し、AlとGaの組成比は第1原料ガス及び第2原料ガスの流量比を調整することによって行う。

【0045】

n型の不純物としてはSiを用い、Si不純物原料ガスとしてシラン、またはテトラエチルシラン等の有機シランを用いる。

【0046】

次に、チャンバー内の温度を800℃まで降温して窒素ガス雰囲気中でInGa<sub>0.11</sub>N<sub>0.89</sub>多重量子井戸(MQW)活性層16を形成する。このとき上記第1、第3の原料ガスに加えて、Inを含む有機金属化合物としてトリメチルインジウム(第4の原料ガス)を用いた。

## 【0047】

このInGa<sub>0.11</sub>N<sub>0.89</sub>多重量子井戸構造は、In<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N井戸層(3層、厚さ4nm)とIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N障壁層(4層、厚さ8nm)を交互に形成した構造となっている。

## 【0048】

次に、チャンバー内の温度を1080℃まで昇温して水素を含まないキャリアガス雰囲気(純粋窒素キャリアガス雰囲気)で、p型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層17(厚さ20nm)を成長する。次に、連続してp型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19(1μm)、p型コンタクト層20(20nm)を成長する。

## 【0049】

このときp型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層17の形成工程において、キャリアガスを窒素のような不活性ガスのみとし水素ガスを流さない条件下で温度を800℃から1080℃へ昇温してもInGa<sub>0.11</sub>N<sub>0.89</sub>多重量子井戸活性層16が熱エッチングされなかった。

## 【0050】

また、p型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19、p型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nコンタクト層20の連続成長のときは、窒素のみの雰囲気が望ましいが、水素が含まれてもかまわない。

## 【0051】

また、本実施形態では、In<sub>0.11</sub>Ga<sub>0.89</sub>N井戸層/In<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>N障壁層からなる多重量子井戸活性層16の両面に、Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層15、17及びGaN導波層14、18を設けたSCH(Separate Confinement Heterostr



ucture) 構造からなるコア領域となっている。

【0052】

次に、p型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19を幅2μmのストライプ部分を残すように、p型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19の途中までエッチング除去する。こうしてストライプ上のリッジ部を形成する。ここでp型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19のエッチングによって残された薄い部分の膜厚は、p型GaN導波層18との界面から0.2μm以下とすることが望ましく、これにより水平横モードが基本モードになるための屈折率差を得られる。

【0053】

次に、p型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層19からn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12まで部分的にエッチング除去する。そしてn型GaNコンタクト層11が露出した上にn側電極22を形成し、p型GaNコンタクト層20上にはp側電極21を形成する。

【0054】

次に、p側電極21からn側電極22へ側面に沿ってリーク電流が流れないように絶縁膜93で覆う。

【0055】

次に、共振器長が600μmとなるようにチップ化し、光出射端面には強誘電体多層薄膜からなる高反射率膜を皮膜する。さらにCu、立方晶窒化砒素またはダイヤモンド等の熱伝導性の高いヒートシンク上にTi/Pt/Au等をメタライズした膜に対してAuSn共晶半田を用いて熱圧着する。電流注入のための配線はAu配線などを用いる。

【0056】

以上のようにして作成した半導体レーザ装置では、同じ成長温度且つ同じ雰囲気ガスの環境下で、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12（厚さ0.6μm）を、n型GaNコンタクト層11上に形成し、連続してn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13を厚さ1.2μm成長し

てもクラックが発生していなかった。しかも下地のn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12中で緩和されていた。更に縦方向に伸張した転位はn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層12とn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層13の界面で、この界面に沿って横方向に伸張する傾向にあり、これより上層の各化合物半導体層中では、転位密度が $1 \times 10^4 \text{ cm}^{-2}$ 以下まで低減できた。これは電極からの金属やドーパントが通電時の発熱によって拡散することを抑制できまた漏洩電流が低下できるので動作電流の経時変化を抑制できることを示している。

## 【0057】

このようにして形成した本実施形態における半導体レーザ装置のレーザ特性を測定したところ、閾値電流12mA、発振波長405nm、動作電圧4.2Vで室温連続発振した。このときの最大光出力は200mWを超え、しかもキンクがない基本モードTE<sub>00</sub>で発振した。遠視野像は垂直方向半値幅22°、水平方向半値幅10°の単峰ピークが得られた。さらに50℃、50mW駆動における素子寿命は10000時間以上、0℃から90℃における相対強度雑音は-135dB/Hz以下であった。このように基本モードを達成し、且つ高光出力の連続発振を達成する窒化物系半導体レーザを得ることができた。

## 【0058】

## (実施形態2)

図4は、本発明の実施形態2に係る化合物半導体レーザ装置の断面図である。

## 【0059】

本実施形態による化合物半導体レーザ装置と、実施形態1にかかる化合物半導体レーザ装置との異なる点は、サファイア基板10のかわりに(0001)面を主面とするn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30を用い、n側電極42をn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30の下部に形成したところである。本実施形態による化合物半導体レーザ装置においてn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30は(0001)面を主面とする基板を用いたが、A面Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N基板やM面Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N基板、さらには傾斜C面Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N基板等であっても良い。

## 【0060】

したがって本実施形態による半導体レーザ装置は、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30上にn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>Nコンタクト層31が形成され、このn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>Nコンタクト層31上に、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層32が形成されている。このn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N格子不整合層32上にはGa<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaNからなる超格子構造クラッド層33が形成されている。このn型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaN超格子構造クラッド層33上には、下からn型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>N導波層34、n型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層35、InGa<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>N多重量子井戸(MQW)活性層36、p型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>Nオーバーフロー防止層37、p型Ga<sub>0.75</sub>Al<sub>0.25</sub>N導波層38からなるコア領域44が形成されている。

## 【0061】

このコア領域44上にはp型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>N/GaNからなる超格子構造クラッド層39が形成され、この超格子構造クラッド層39上にp型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>Nコンタクト層40が形成され凸形状のストライプ状にエッチバックされている。

## 【0062】

p型Ga<sub>0.85</sub>Al<sub>0.15</sub>Nコンタクト層40上にはp側電極41、n型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30の裏面上にはn側電極42が形成されている。45はp側電極41上に形成された電極パッドである。43は絶縁膜である。

## 【0063】

このような化合物半導体レーザ装置においても、実施形態1と同様の発振波長、最大光出力、基本モードTE<sub>00</sub>発振、遠視野像が得られた。

## 【0064】

また、本実施形態では、閾値電流が10mAとなり、実施形態1よりも更に低減されていた。これは素子分離をへき開法により容易にしかも歩留まりよく光射出端面が形成できるようになったことが起因している。

## 【0065】

また素子寿命もn型Ga<sub>0.95</sub>Al<sub>0.05</sub>N半導体基板30を用いることで、実施形態1よりも

更に伸びていた。

【0066】

本実施形態では、n側電極42の接触抵抗が低減され動作電圧は4.1Vと実施形態1よりも低くなっていた。

【0067】

なお、本発明は上記実施形態1、2に限られるものではなく、基板としてSi、SiC、 $MgAl_2O_4$ やGaAsなどの他のIII-V族化合物半導体などが適用可能である。

【0068】

さらに構造、膜厚、組成などにおいては、本発明の主旨に逸脱しない限り種々選択して適用できる。特に、 $In_sGa_tAl_uB_{1-s-t-u}N$  ( $0 \leq s, t, u, s+t+u \leq 1$ ) を格子不整層として用いる場合に、下地層に対して残留歪量が0.14%以下の引っ張り歪であって且つレーザ発振の実効屈折率より屈折率が低い組成であれば適用可能であることは言うまでもない。

【0069】

また上記実施形態では、クラッド層としてGaAlN/GaN超格子構造を示したが、例えばGaAlN単体の層にしても良い。

【0070】

また半導体レーザ装置のマウント例として、Cu、AlN、BN、ダイヤモンド等、熱伝導率の高い材料を用いると効果的である。

【0071】

さらに、マウント面として基板側のみならず、活性層に近い面を用いることでさらなる放熱性の改善を図ることができる。

【0072】

また、光ピックアップモジュールの小型化に対応した半導体集積回路やミラー面を有する半導体集積回路基板へマウントすることも可能である。

【0073】

【発明の効果】

本発明は、基本モードを達成し、且つ結晶欠陥の発生を抑制して高光出力の連

続発振を達成する窒化物系半導体レーザ装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態 1 に係る化合物半導体レーザ装置の断面図。

【図 2】 本発明の実施形態 1 に係る化合物半導体レーザ装置における各層の屈折率の関係を示す図。

【図 3】  $Ga_{1-x}Al_xN$  格子不整合層の Al 組成と  $GaAlN/GaN$  超格子クラッド層の限界膜厚との関係を示す図。

【図 4】 本発明の実施形態 2 に係る化合物半導体レーザ装置の断面図。

【図 5】 従来の化合物半導体レーザ装置の断面図。

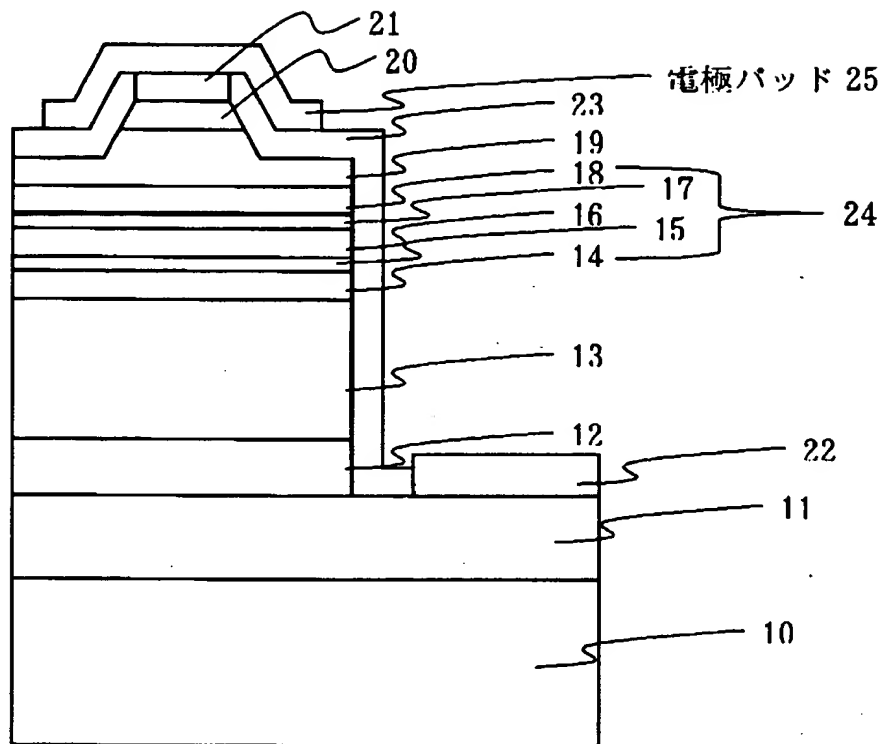
【図 6】 従来の化合物半導体レーザ装置における各層の屈折率の関係を示す図。

【符号の説明】

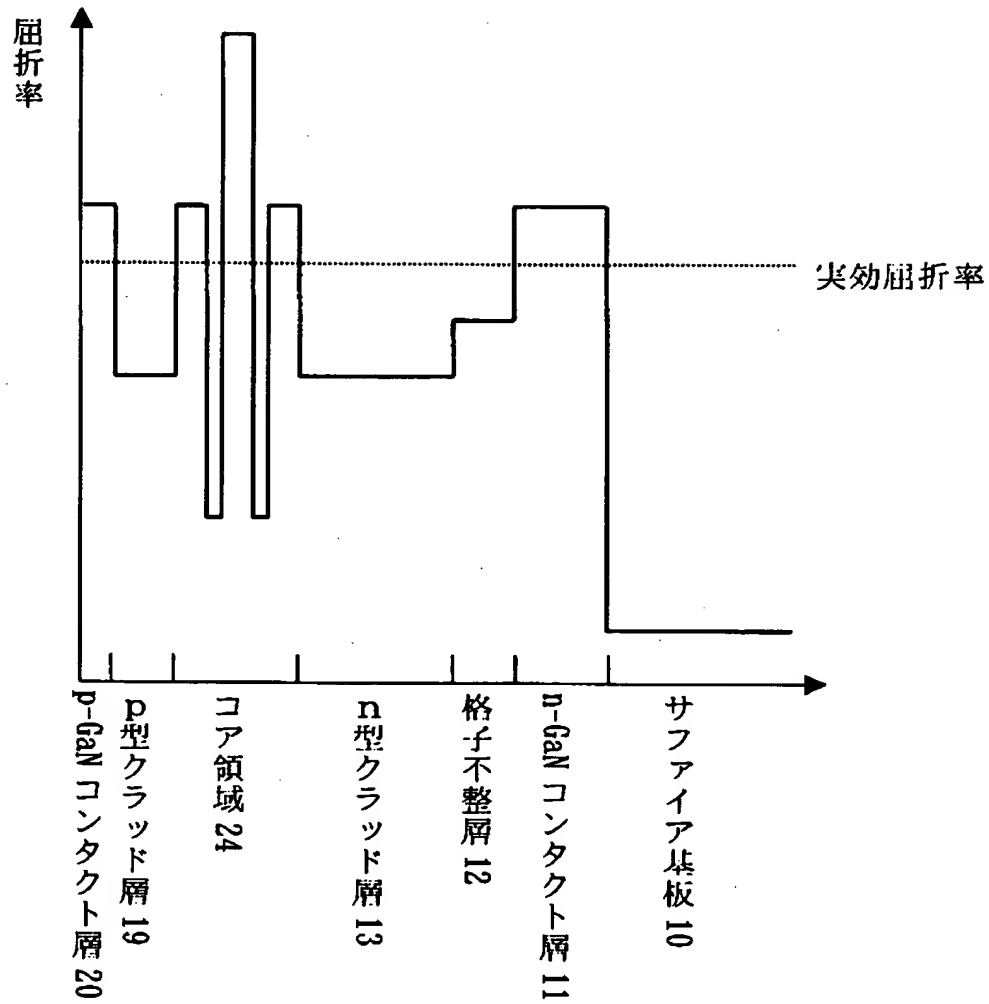
- 1 0 . . . サファイア基板
- 1 1 . . . n 型  $GaN$  コンタクト層
- 1 2 . . . n 型  $Ga_{1-x}Al_xN$  格子不整合層
- 1 3 . . . n 型  $GaAlN/GaN$  超格子構造クラッド層
- 1 4 . . . n 型  $GaN$  導波層
- 1 5 . . . n 型  $GaAlN$  オーバーフロー層
- 1 6 . . .  $InGaN$  多重量子井戸活性層
- 1 7 . . . p 型  $GaAlN$  オーバーフロー層
- 1 8 . . . p 型  $GaN$  導波層
- 1 9 . . . p 型  $GaAlN/GaN$  超格子構造クラッド層
- 2 0 . . . p 型  $GaN$  コンタクト層
- 2 1 . . . p 側電極
- 2 2 . . . n 型電極
- 2 3 . . . 絶縁層
- 2 4 . . . コア領域
- 2 5 . . . 電極パッド

【書類名】 図面

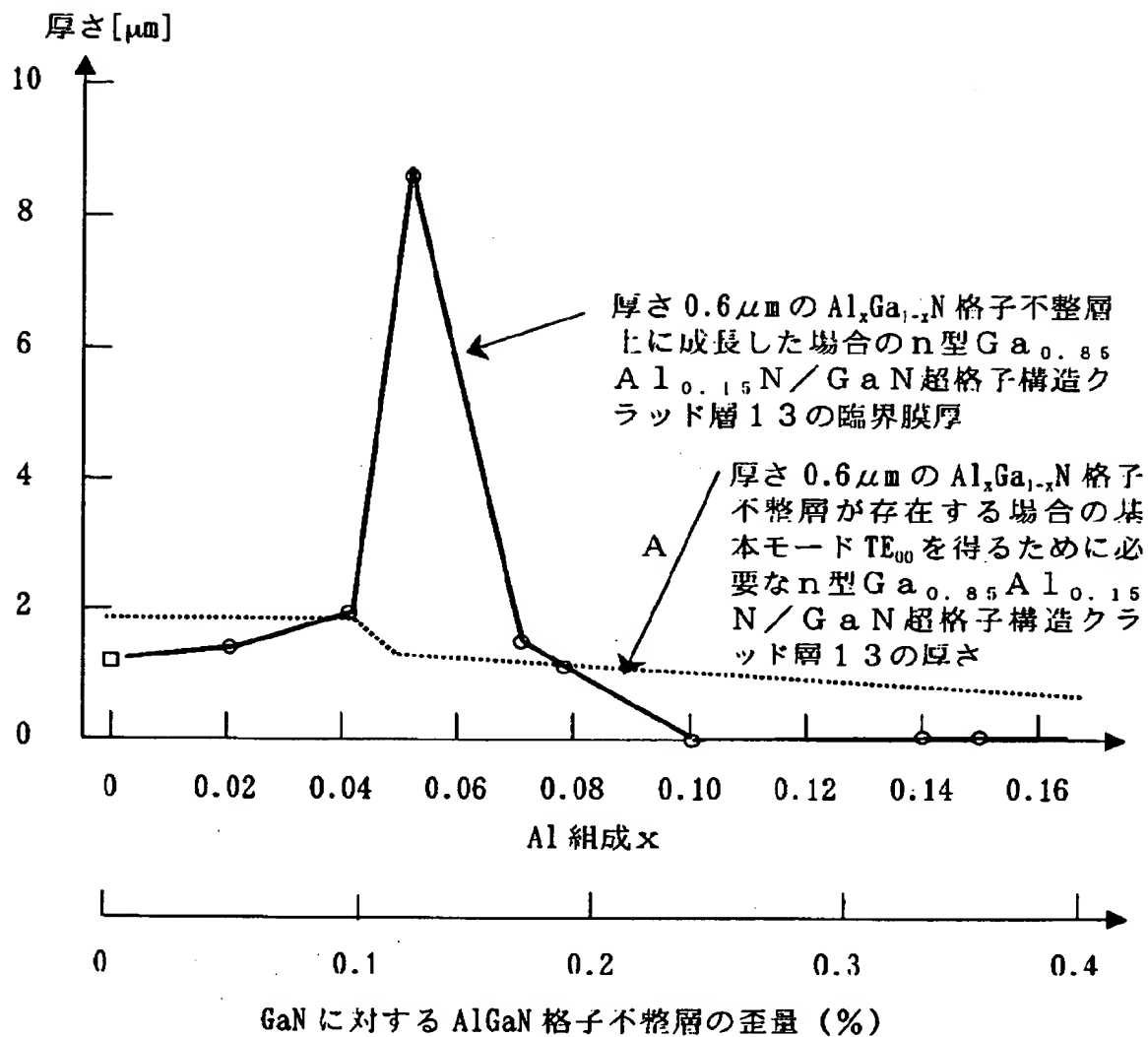
【図 1】



【図 2】

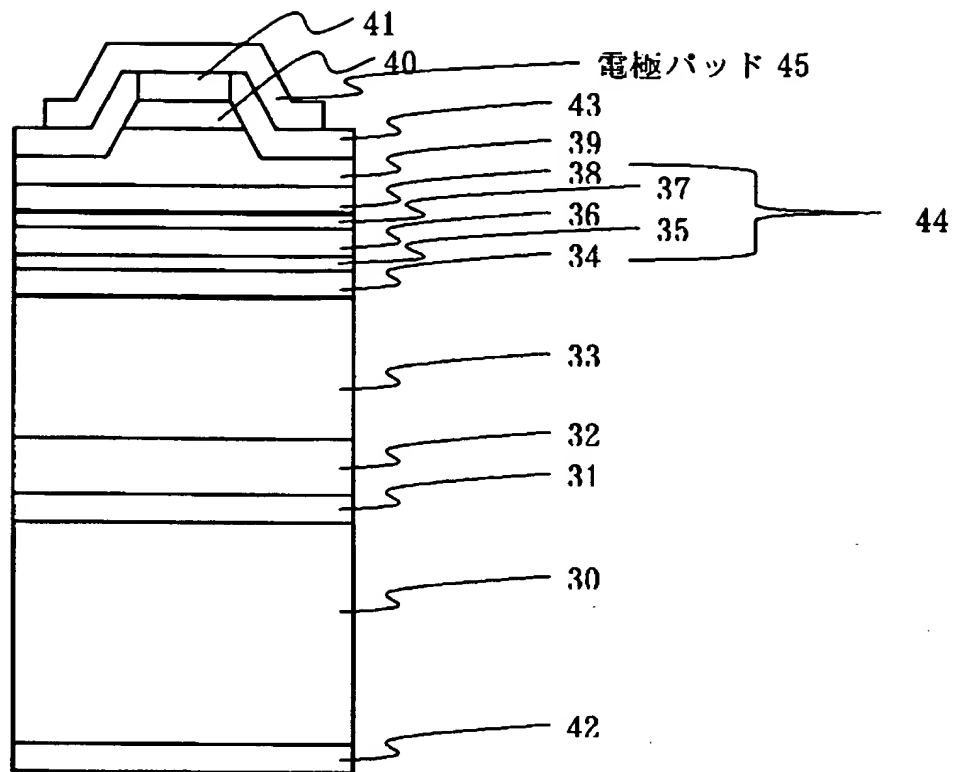


【図 3】

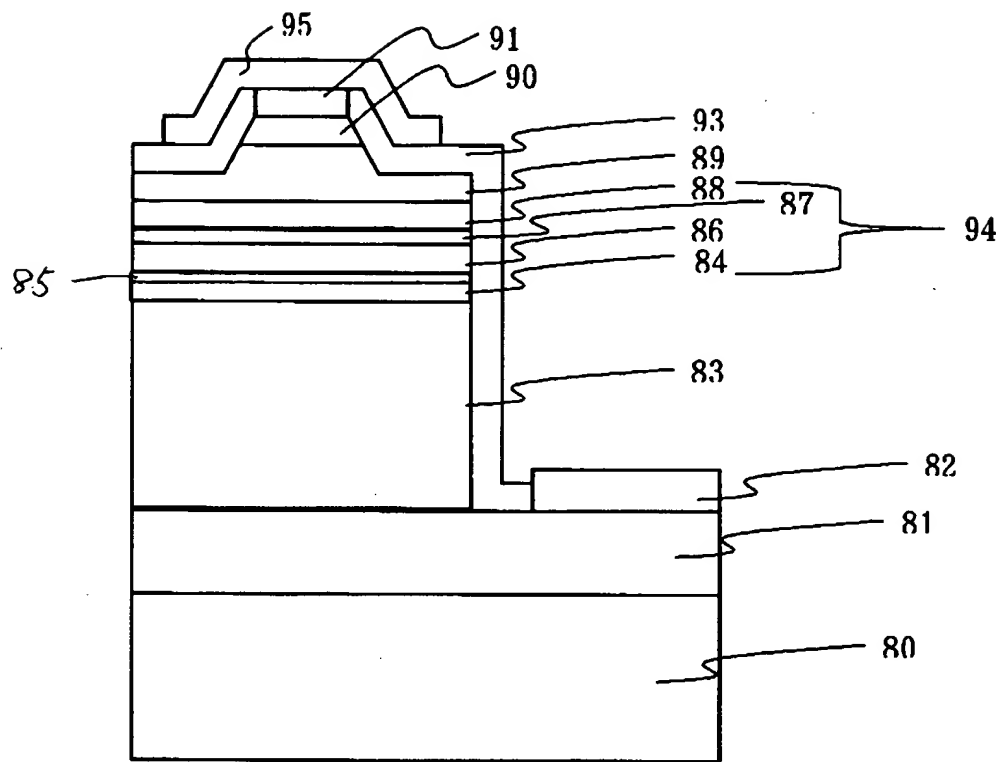




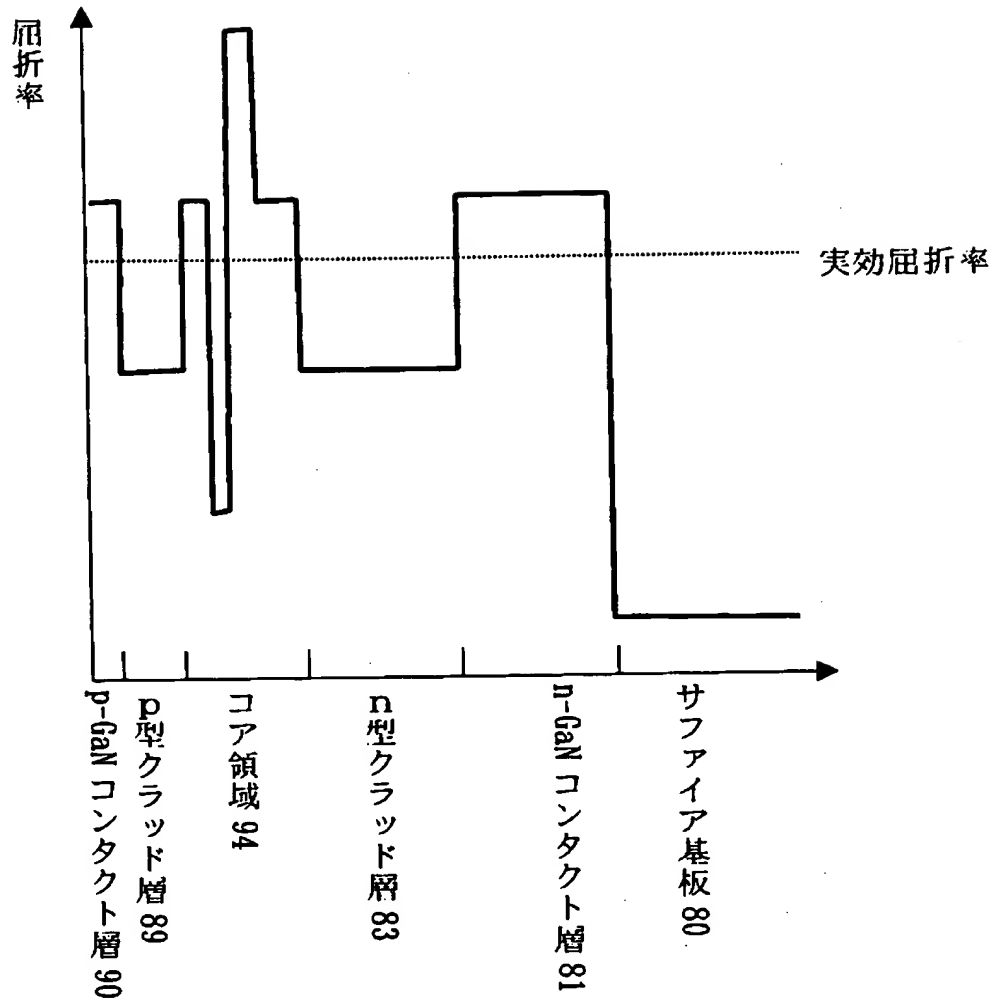
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

高密度型光ディスクシステムで要求されるビーム特性が得られる信頼性の高い窒化物系半導体レーザ装置を提供する。

【解決手段】

GaNコンタクト層11とGaAlN/GaN超格子構造クラッド層13との間に $Ga_{1-x}Al_xN$  ( $0.04 \leq x \leq 0.08$ ) からなる格子不整合層12を挿入し、GaAlN/GaN超格子構造クラッド層13上に形成された少なくとも活性層16を含むコア領域24と、このコア領域24上に形成されたGaAl/GaN超格子構造クラッド層19とを具備する半導体レーザ装置。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日	1990年 8月22日
[変更理由]	新規登録
住 所	神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名	株式会社東芝